

GGE 双标图评价谷子‘豫谷 18’的丰产稳产性和适应性

宋慧¹ 刘金荣^{1*} 王素英¹ 闫宏山¹ 王涛² 邢晓宁¹ 邢璐¹ 付楠¹

(1. 安阳市农业科学院 谷子研究所, 河南 安阳 455000;
2. 安阳工学院 生物与食品工程学院, 河南 安阳 455000)

摘要 为更准确评价谷子品种的丰产稳产和适应性, 提高育种效率, 采用 GGE-biplot 双标图软件, 对 2010—2011 年国家谷子区域试验华北夏谷区组中‘豫谷 18’等 25 个参试品种进行丰产稳产和适应性评价。结果表明: 1) ‘豫谷 18’在 AEA 轴上的垂足最接近正方, 丰产性优良; 在 AEC 轴投影距离最短, 稳产性突出。2) ‘豫谷 18’距离理想品种最近, 高产稳产性综合表现优于对照品种‘冀谷 19’及其他参试品种。3) ‘豫谷 18’是适应性最广品种, 适宜种植区域涵盖华北夏谷区组绝大部分区域。4) 与‘冀谷 19’比较, ‘豫谷 18’在华北夏谷大部分区域种植优势明显。综上所述, 在华北夏谷区组参试品种中, ‘豫谷 18’是兼有丰产、稳产和广适应性的理想谷子品种。

关键词 谷子; GGE 双标图; 稳产性; 丰产性; 适应性

中图分类号 S562.03 文章编号 1007-4333(2020)01-0029-10 文献标志码 A

Evaluation of foxtail millet yield stability and adaptability using GGE-biplot analysis: A case study of ‘Yugu18’ foxtail millet cultivar

SONG Hui¹, LIU Jinrong^{1*}, WANG Suying¹, YAN Hongshan¹, WANG Tao²,
XING Xiaoning¹, XING Lu¹, FU Nan¹

(1. Institute of Foxtail Millet Anyang Academy of Agriculture Sciences, Anyang 455000, China;
2. Department of Biological Engineering College of Biology and Food Engineering, Anyang Institute of Technology, Anyang 455000, China)

Abstract In this study, the GGE-biplot double plot software was used to analyze the high and stable yield and adaptability of 25 millet varieties such as ‘Yugu 18’ in the national millet regional test from 2010 to 2011, and evaluate the adaptability of the target region. The results of two-year regional experiment showed that: 1) the vertical foot of ‘Yugu 18’ on AEA axis was the closest to the square, and its high yield was excellent; the projection distance on AEC axis was the shortest, and its stable yield was outstanding. 2) ‘Yugu 18’ was the closest to the ideal variety, and its comprehensive performance of high and stable yield was better than that of the control variety ‘Jigu 19’ and other tested varieties. 3) ‘Yugu 18’ was the winner of polygon apex, and the most suitable planting area covers most areas of North China summer valley region, which was the most adaptable variety. 4) Compared with the yield of ‘Jigu 19’, ‘Yugu 18’ had obvious planting advantages in most areas of North China summer valley. It was showed the ideal characteristics of ‘Yugu 18’ for high yield, stable yield and wide adaptability in the summer valley region of North China, which provided theoretical basis for the popularization and application of ‘Yugu 18’.

Keywords foxtail millet; gge-biplot; productivity; yield stability; adaptability

收稿日期: 2019-03-20

基金项目: 农业部/财政部“现代农业产业技术体系建设专项资金”(CARS-07-12. 5-A18); 河南省科技攻关计划(162102110020)

第一作者: 宋慧, 副研究员, 主要从事谷子资源与遗传育种研究, E-mail: 837181622@qq.com

通讯作者: 刘金荣, 研究员, 主要从事谷子资源与遗传育种研究, E-mail: ay837181622@1126.com

谷子(*Setaria italica* (L.) Beauv.)为禾本科狗尾草属作物,起源于中国,在中国农耕文明中占举足轻重的地位^[1-2]。在深化农业供给侧结构性改革和实现乡村振兴战略政策的引导下,培育适应性广、高产、稳产和适合机械化作业等突破性谷子新品种,是当前谷子产业发展的方向之一。据国家谷子糜子产业体系产业经济岗位调查结果^[3],2013年‘豫谷18’全国种植面积5 333 hm²,2014年约1.3万hm²,2015年新疆华大谷业科技有限公司仅在新疆推广约1.3万hm²,2013—2017年连续被农业部列为华北夏谷区谷子生产上主推品种,推广应用前景良好。以华北夏谷区组试验为例对该品种进行丰产稳产和适应性科学评价,找到基因型与环境互作效应可重复,提高谷子新品种的丰产稳产性和适应性育种的选择效率,对持续提升谷子产业综合竞争力和可持续发展能力具有重要意义。

GGE双标图(GGE, genotype main effects and genotype-environment interaction effects)通过分析基因型主效和基因型与环境互作效应,以模型的方式科学描述和量化表达^[4-5]。目前国内外已被广泛应用于棉花^[6-9]、小麦^[10]、玉米^[11-12]、水稻^[13]、燕麦^[14]、小豆^[15]、糜子^[16]、花生^[17]和荞麦^[18]等作物的品种丰产性与稳产性分析、品种适宜种植区域划分^[19]、种质资源评价^[20]和试验环境评价^[21-24]等研究。以谷子为例,用GGE双标图评价品种的丰产稳产性和适应性,并为品种推荐适宜种植区域,在谷子新品种推广和应用中报道尚少。鉴于此,本研究应用2010—2011年国家谷子品种区域试验华北夏谷区组‘豫谷18’所在组别参试品种的谷子小区产量数据,通过GGE双标图的“丰产性与稳定性”功能图、“理想品种”功能图和“适宜种植区域划分”功能图对‘豫谷18’等品种的丰产性与稳产性、适宜种植区域划分进行分析,并采用“成对比较”功能图分析‘豫谷18’与对照品种‘冀谷19’在目标区域的适应性表现,旨在为‘豫谷18’的合理利用提供理论依据,以期为其他作物品种的高产稳产性与适应性评价提供参考方法。

1 材料与方法

1.1 试验材料和地点

研究数据来源于2010—2011年华北夏谷区‘豫谷18’所在组别谷子新品种区域试验的产量数据

(表1)。2010年参试品种10个,2011年参试品种15个,‘冀谷19’为对照品种,2010年试验在河北省石家庄市高新区(简称为SJZ,下同)、河北省唐山市滦县(LX)、河北省邯郸市武安市(WA)、河北省保定市莲池区(BD)、河北省沧州市运河区(CZ)、河北省衡水市桃城区(HS)、河南省安阳市北关区(AY)、河南省洛阳市洛龙区(LY)、河南省郑州市金水区(ZZ)、山东省济南市历城区(JN)和北京市昌平区(BJ)共11个试点。2011年新增河北省邯郸市邯山区(HD)、山东省临沂市莒县(LX),辽宁省锦州市太和区(JZ),山东省德州市德城区(DZ)。河北省武安市不再作为参试点,总计14个试点。不同试点经纬度、海拔等地理信息,见表2。

1.2 试验设计

试验采用随机区组排列,3次重复,6~8行,行距0.4 m,小区面积20 m²,留苗密度60万株/hm²,收获时按实收小区产量。

1.3 统计分析

采用GGE-biplot软件(基因和基因×环境双标图)参照《农作物品种试验数据管理分析》^[25]对参试品种进行丰产性和稳定性、理想品种、适宜种植区域划分和成对比较评价。

2 结果与分析

2.1 产量方差分析

表3可知,2010—2011年国家谷子区试华北夏谷区组品种产量多环境方差分析均达到差异极显著水平。其中2010年基因型主效应、环境主效应和基因×环境主效应的变异分别占处理总变异的11.6%、43.56%和27.3%,2011年分别占总变异的10.8%、60.9%和17.7%。可见环境主效应是产量变异来源,基因型×环境互作效应2年试验中都大于基因型效应,采用GGE模型有效剔除环境效应的影响,科学评价基因型、基因型×环境互作效应,推荐各参试品种的适宜种植区域。

2.2 ‘豫谷18’的丰产性和稳产性分析

由图1(a)可知,2010年国家谷子品种区试华北夏谷区组中第1主成分(PC1)效应37.3%,第2主成分(PC2)的效应为21.6%,基因型和环境互作效应58.9%。各品种的丰产性表现为‘豫谷18’(YG18) > ‘206058’ > ‘豫谷19’(YG19) > ‘200131’ > ‘保213’(B213) > ‘济0515’(J0515) > ‘沧372’(C372) > ‘衡2001’(H2001) > ‘冀谷19’

表 1 2010—2011 年国家谷子品种区域试验华北夏谷区组参试品种信息表

Table 1 Description of foxtail millet cultivars in the national foxtail millet region trials in the summer sowing region of North China in 2010—2011

年份 Year	参试品种 Cultivar	简称 Abbreviation	小区产量/kg Plot yield	理想指数 Ideal index	稳产指数 Stability index
2010	沧 372	C372	6.73±0.76 cC	2.1	0.5
	保 213	B213	6.82±0.68 cCD	2.2	0.9
	206058	v206058	7.21±0.93 bB	1.7	0.8
	衡 2001	H2001	6.42±0.85 dD	2.6	0.3
	200131	v200131	6.61±0.79 dD	2.1	0.7
	豫谷 19	YG19	7.08±0.96 adAB	1.6	0.1
	豫谷 18	YG18	7.49±0.74 Aa	0.7	0.2
	济 0515	J0515	6.69±0.81 deD	2.1	0.3
	郑 06-6	Z06-6	6.52±0.89 Ed	2.8	0.4
	A2×测 351 变	A2C	6.27±0.93 Ed	3.3	0.4
冀谷 19(ck)	JG19	6.53±0.97 Ed	1.6	0.3	
2011	M1508	M1	6.3±0.78 bB	2.3	0.1
	K1174	K1	6.25±0.5 bB	2.3	0.3
	郑 07-1	z07	5.92±0.89 cC	3.1	0.1
	200475	v20	6.31±0.92 bB	2.3	0.8
	保 200302	B20	5.73±0.73 eE	3.6	0.1
	济 0506	J05	6.24±0.77 bcBC	2.1	0.5
	沧 369	C369	5.88±0.84 dD	2.4	0.3
	石 3839	S38	5.8±0.69 dD	3.2	0.1
	京安 7505	JA	6.63±0.83 aA	1.3	0.1
	A2×4170	A24	5.89±0.86 dD	3.5	1.2
	A2×夏父 1	A2X	5.87±0.94 dD	3.2	0.2
	沧 372	C372	5.67±0.86 eE	3.3	0.2
	保 213	B213	6.41±0.81 aA	2.4	0.2
	豫谷 19	YG19	6.35±0.79 abAB	2.2	0.1
豫谷 18	YG18	6.97±0.72 aA	0.9	0.1	
冀谷 19(ck)	JG19	5.96±0.85 cC	3.2	0.3	

注:不同小写和大写字母分别表示在 5% 和 1% 水平上差异显著。

Note: Yield data in each year followed by different lowercases and capital letters are significantly different at 5% and 1% probability levels, respectively.

表2 2010—2011年国家谷子区域试验华北夏谷区组环境的地理因子

Table 2 Geographical factors and planting regions of test locations of national foxtail millet regional trials in the summer sowing region of North China

试验地点 Trial location	代码 Code	经度 Longitude	纬度 Latitude	海拔/m Altitude
河北省石家庄市	SJZ	38°02′	114°30′	82
河北省滦州市	LX	39°45′	118°41′	46
河北省武安市	WA	36°41′	114°11′	194
河北省保定市	BD	38°52′	115°27′	25
河北省沧州市	CZ	38°18′	116°49′	12
河北省衡水市	HS	37°44′	115°39′	24
河北省邯郸市	HD	36°37′	114°32′	55
河北省莒南市	JX	35°34′	118°49′	113
河南省安阳市	AY	36°05′	114°23′	71
河南省洛阳市	LY	34°37′	112°26′	146
河南省郑州市	ZZ	34°44′	113°37′	110
山东省济南市	JN	36°33′	116°44′	149
山东省德州市	DZ	37°26′	116°21′	23
北京市昌平区	BJ	39°54′	116°24′	52
辽宁省锦州市	JZ	41°05′	121°07′	23

表3 2010—2011年国家谷子区域试验华北夏谷区谷子品种产量的联合方差分析

Table 3 Combined analysis of variance for foxtail millet yield from the national foxtail millet regional trials in the summer sowing region of North China in 2010—2011

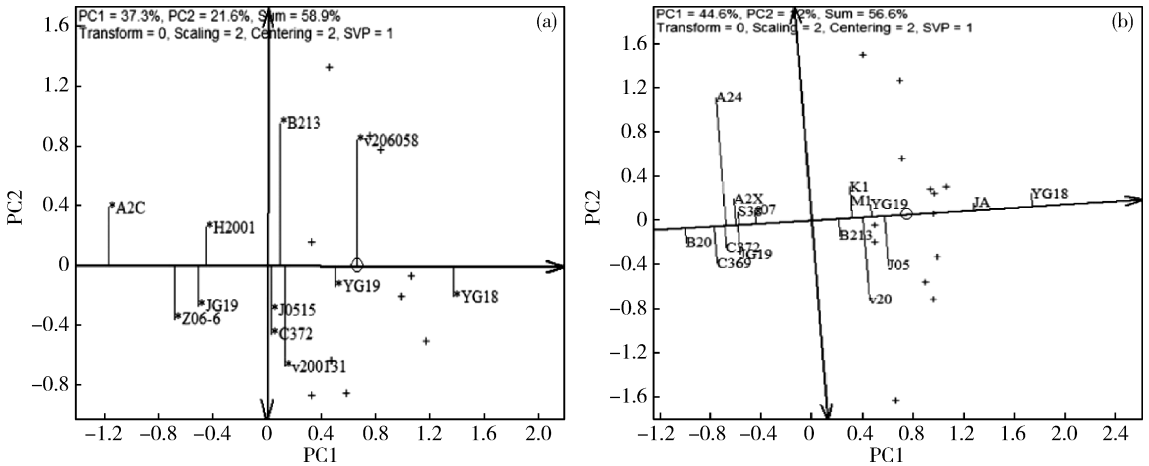
年份 Year	变异来源 Variation source	自由度 df	平方和 SS	均方 MS	F
2010	点内区组间	20	8.227 812	0.411 391	1.2
	基因型	10	49.254 340	4.925 434	14.9**
	环境	9	184.387 800	20.487 530	61.8**
	基因型×环境	90	115.194 900	1.279 944	3.9**
	误差	200	66.322 000	0.332 000	
	总变异	329	423.387 000		
2011	区组	26	24.677 600	0.949 139	4.6**
	基因型	15	108.478 600	7.231 904	34.8**
	环境	12	610.179 400	50.848 280	244.6**
	基因型×环境	180	177.390 300	0.985 502	4.7**
	误差	390	81.068 000	0.208 000	
	总变异	623	1 001.794 000		

注：**表示差异极显著($P < 0.01$)。

Note: ** indicates significant difference at 0.01 level.

(JG19) > ‘郑 06-6’ (Z06-6) > ‘A2 × 测 351’ (A2C), ‘豫谷 18’最接近 AEA 轴垂足的正方向, 与其他品种距离较远, 表明‘豫谷 18’的丰产性优于其他参试品种, 与品种间差异多重比较结果一致 (表 1)。参试品种稳产性表现为 (图 1(a)), ‘豫谷 19’和‘豫谷 18’在 AEC 轴的投影距离短, 稳产指数低, 稳产性最好, ‘济 0515’、‘衡 2001’、‘冀谷 19’、‘郑 06-6’稳产性较好, ‘206058’、‘200131’、‘沧 372’稳产性较差, ‘保 213’稳产性最差。由表 1 和图 1(b)可知, 2011 年参试品种的丰产性表现为: ‘豫

谷 18’ > ‘京安 7505’ > ‘济 0506’ > ‘豫谷 19’ > ‘200475’ > ‘M1508’ > ‘K1174’ > ‘保 213’ > ‘郑 07-1’ > ‘冀谷 19’ > ‘石 38’ > ‘A2’ × ‘夏父 1’ > ‘沧 372’ > ‘A2 × 4170’ > ‘沧 369’ > ‘保 200302’, 其中‘豫谷 18’的丰产性优于其他参试品种。各参试品种的稳产性表现为, 有‘豫谷 18’和‘京安 7505’稳产性最好, ‘豫谷 19’、‘M1508’、‘保 213’, 以‘A2 × 4170’和‘200475’稳产性最差。综合分析表明, ‘豫谷 18’在 2 年区域试验中丰产性和稳产性均表现良好。



PC1, 第一主成分; PC2, 第二主成分。带“*”表示品种, “+”表示参试点。下同。“o”为各试点环境坐标的平均值, 代表目标环境; 通过原点和平均环境的直线是平均环境轴, AEA 轴的箭头方向为正方向, 丰产性由双标图中参试品种在 AEA 轴上相对位置对应, 越靠近正方向说明丰产性越好; 稳定性是由参试品种向 AEA 轴做垂线, 距离越远稳定性越差, 反之则稳定性好。

C372, 沧 372; B213, 保 213; v206058, 206058; H2001, 衡 2001; v200131, 200131; YG19, 豫谷 19; YG18, 豫谷 18; J0515, 济 0515; Z06-6, 郑 06-6; A2C, A2 × 测 351 变; JG19, 冀谷 19; M1, M1508; K1, K1174; z07, 郑 07-1; v20, 200475; B20, 保 200302; J05, 济 0506; C369, 沧 369; S38, 石 3839; JA, 京安 7505; A24, A2 × 4170; A2X, A2 × 夏父 1。下同。

PC1, first principal component; PC2, second principal component. The same below. The plus sign “+” shows the test location. “*” is cultivar. The small circle in the figure is the average value of the coordinates of the position of the test location, representing the target environment. The straight line through the origin and the average environment is the average environment axis, and the arrow direction of the AEA axis is in the positive direction. The relative position of the tested varieties on the AEA axis corresponds to the high yield and the closer they are to the positive direction, the better the high yield. The stability is represented by the vertical line from tested varieties to AEA axis. The farther the distance the worse the stability, and vice versa, the better the stability.

C372, Cang 372; B213, Bao 213; v206058, 206058; H2001, Heng 2001; v200131, 200131; YG19, Yugu 19; YG18, Yug 18; J0515, Ji 0515; Z06-6, Zheng 06-6; A2C, A2 × Ce 351 Bian; JG19, Jigu 19; M1, M1508; K1, K1174; z07, Zheng 07-1; v20, 200475; B20, Bao 200302; J05, Ji 0506; C369, Cang 369; S38, Shi 3839; JA, Jingan 7505; A24, A2 × 4170; A2X, A2 × Xiafu 1. The same below.

图 1 2010(a)和 2011 年(b)华北夏谷区组谷子产量 GGE 双标图的丰产性与稳产性功能图

Fig. 1 Mean and stability view of the GGE biplot for millet yield data from the millet regional trials in the summer sowing region in north of China in 2010 (a) and 2011 (b)

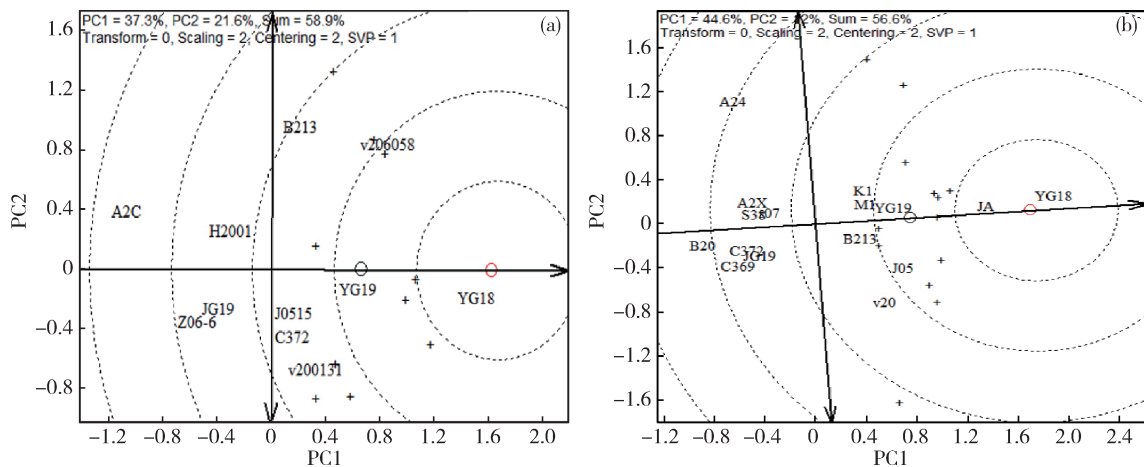
2.3 ‘豫谷 18’的理想指数分析

图 2(a)和表 1 可知, 2010 年各参试品种中‘豫谷 18’距离理想品种最近, 理想指数最小, 说明该品种的丰产性和稳产性综合表现最好; ‘豫谷 19’和

‘206058’, ‘200131’, ‘沧 372’, ‘济 0515’, ‘保 213’较为理想; ‘衡 2001’, ‘郑 06-6’表现较差; ‘A2 × 测 351’综合表现最差。2011 年理想指数最小的品种是‘豫谷 18’和‘京安 7505’, 其次是‘豫谷 19’, ‘保

283’、‘M1508’、‘K1174’、‘200475’、‘A2×4170’和‘保200302’表现差(表1和图2(b))。‘豫谷18’在

2年区域试验中丰产性和稳产性综合表现显著优于其他参试品种和对照品种。



“o”是理想品种的图标,以理想品种为圆心画出若干个同心圆,越接近圆心的品系理想程度越好。

“o” at the center of concentric circle is the mark of the ideal cultivar. Draw several concentric circles with the ideal cultivar as the center of the circle. The closer to the center of the circle is the better the cultivar.

图2 2010(a)和2011年(b)国家谷子区域试验华北夏谷区组谷子产量GGE双标图的“理想品种”功能图

Fig. 2 Ideal cultivar view of the GGE biplot for millet yield data from the millet regional trials in the summer sowing region in north of China in 2010 (a) and 2011 (b)

2.4 ‘豫谷18’的适宜种植区域划分

由图3(a)可知,2010年‘豫谷18’在河北省石家庄市高新区、衡水市桃城区、沧州市运河区,河南省安阳市北关区、洛阳市洛龙区、郑州市金水区 and 山东省临沂市莒县等7个试点综合表现良好,‘206058’在山东省济南市历城区、河北省保定市莲池区、唐山市滦县表现最好。由图3(b)可知,2011年‘豫谷18’,‘京安7505’,‘M1508’在河南省安阳市北关区、洛阳市洛龙区,山东省德州市德城区、济南市历城区,临沂市莒县,河北省衡水桃城区、石家庄市高新区、唐山市滦县、沧州市运河区、邯郸市邯城区,北京市昌平区等11个试点表现好,适宜种植,‘206058’仅在郑州市1个试点表现好,‘A2×4170’在锦州试点表现最好。综述之,‘豫谷18’能够适应华北夏谷区组大部分试点,为该区组适应性最广的品种。

2.5 ‘豫谷18’与‘冀谷19’的优势种植区域比较

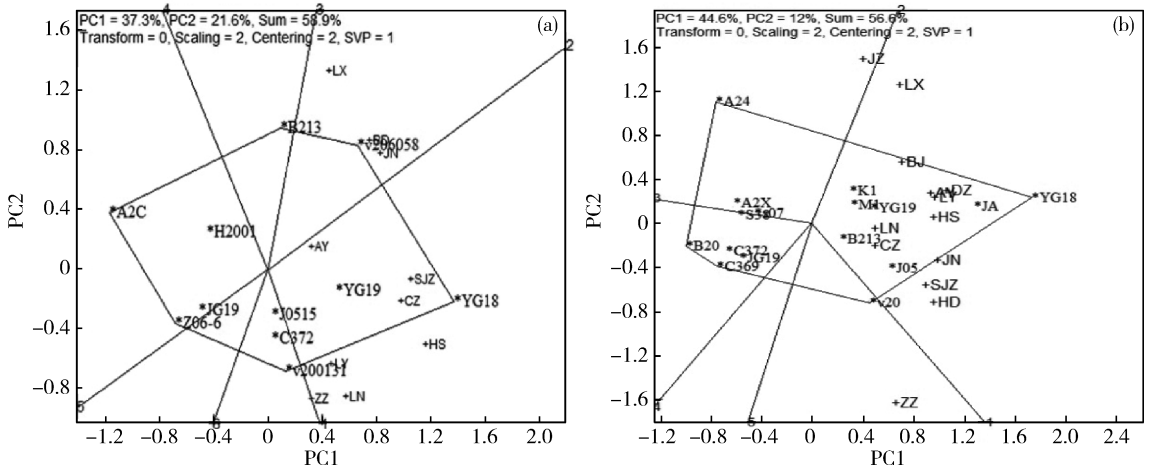
图4(a)可知,2010年‘豫谷18’和‘冀谷19’位于等值线的两侧,试验环境主要位于等值线右侧与‘豫谷18’同侧,‘豫谷18’与等值线之间的距离大于‘冀谷19’与等值线之间的距离,说明‘豫谷18’在不同试点中的丰产性综合表现优于‘冀谷19’。2011年有相似的表现(图4(b))。‘豫谷18’在华北夏谷区域

试点中比对照品种更具有推广优势。

3 讨论

3.1 GGE双标图的应用

在作物区域试验中产量受基因型主效、环境主效×基因型与环境互作效应的共同影响,同一个品种在不同的参试环境中的产量表现的差异会很大,对选育适应性广、高产稳产品种的选育带来困扰。基因型×环境互作效应对品种变异的影响通常大于基因型主效^[20],是影响品种稳定性和适应性的主要因素。在区域试验中科学评价和利用可重复的基因型环境互作效应,对提高育种效率,选育适应性广高产稳产品种起关键作用^[26]。目前,对作物品种丰产和稳产性进行评价应用最多的是AMMI模型,但是这些分析方法主要通过分析基因型与环境互作效应,对基因型进行全面评价,忽视基因型主效、基因与环境主效综合评价。而GGE双标图模型将基因型主效和基因型与环境互作效应相结合^[27],比AMMI模型能更多地解释基因型和基因×环境互作效应,完成对品种的丰产性和稳产性同步评价和选择。本研究采用GGE双标图的“丰产性和稳定性”和“理想品种”功能图对2010—2011年国家谷子区域试验华北夏谷区组中的‘豫谷18’等参试品种的



同一方向上距离原点最远的品种依次连接形成一个多边形，由双标图原点向多边形各边作垂线，形成多个不同扇区，分布在同一个扇区的品种属于相同环境组合，每个扇区中位于多边形顶部的品种为该环境组合中最优品种。

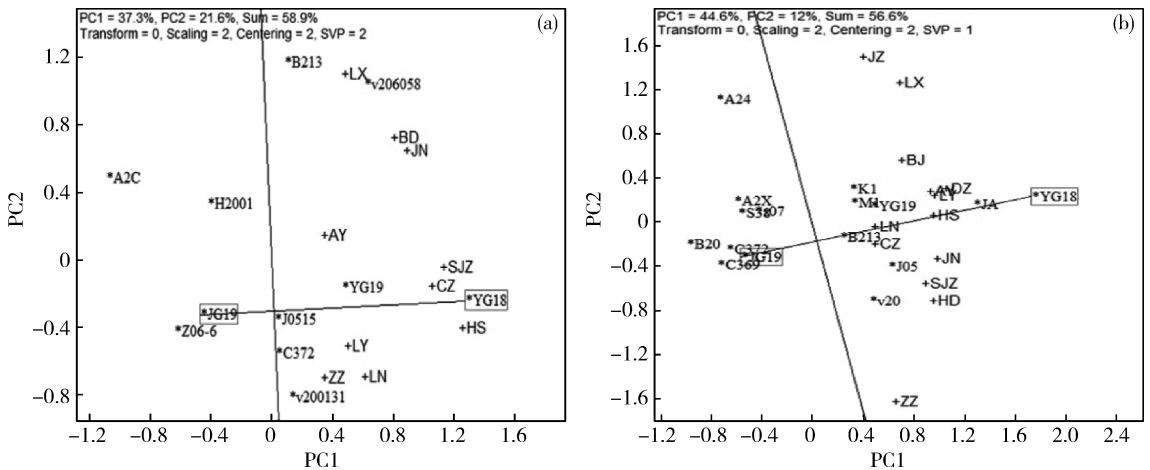
SJZ, 河北省石家庄市; LX, 河北省滦县; WA, 河北省武安市; BD, 河北省保定市; CZ, 河北省沧州市; HS, 河北省衡水市; HD, 河北省邯郸市; LX, 河北省藁县; AY, 河南省安阳市; LY, 河南省洛阳市; ZZ, 河南省郑州市; JN, 山东省济南市; DZ, 山东省德州市; BJ, 北京市; JZ, 辽宁省锦州市。

The varieties farthest from the origin in the same direction are connected in turn to form a polygon. The vertical line is drawn from the origin of GGE biplot to each side of the polygon to form many different sectors. Varieties distributed in the same sector belong to the same environmental combination. In each sector, the varieties located in polygons are the best environmental combination.

SJZ, Shijiazhuang, Hebei; LX, Luanxian, Hebei; WA, Wuan, Hebei; BD, Baoding, Hebei; CZ, Cangzhou, Hebei; HS, Hengshui, Hebei; HD, Handan, Hebei; LX, Juxian, Hebei; AY, Anyang, Henan; LY, luoyang, Henan; ZZ, Zhengzhou, Henan; JN, Jinan, Shandong; DZ, Dezhou, Shandong; BJ, Beijing; JZ, Jinzhou, Liaoning.

图 3 2010(a)和 2011 年(b)华北夏谷区组谷子产量 GGE 双标图的“适宜种植区域划分”功能图

Fig. 3 Which-Won-Where view of the GGE biplot for millet yield data from the millet regional trials in the summer sowing region in north of China in 2010 (a) and 2011 (b)



过双标图原点对直线做垂线也称等值线，品种在等值线上的任意环境中数值相等，距离等值线越远在目标环境表现越好。

Connect the icons of two comparative varieties with a strait directly and draw a vertical line from the origin of GGE biplot to this strait. This vertical line is called an isoline and the values of varieties are equal in any environment on the isoline. The farther the cultivar is from the isoline, the better the performance of this cultivar in the target environment.

图 4 2010(a)和 2011 年(b)国家谷子区域试验华北夏谷区组谷子产量 GGE 双标图的“成对比较”功能图

Fig. 4 Pairwise comparison view of the GGE biplot for millet yield data from the millet regional trials in the summer sowing region in north of China in 2010 (a) and 2011 (b)

丰产性和稳产性分析表明,在2年区域试验中,‘豫谷18’都在AEA轴正方向的最远处,居参试品种第一位,在AEC轴的投影相对较短,稳产性优良;与参试品种相比,‘豫谷18’理想指数最小,丰产性和稳产性综合评价第一,是高产稳产的优良新品种。本研究科学评价‘豫谷18’的适应广、丰产和稳产性特点,为该品种科学合理推广应用提供了理论依据,同时也进一步证实GGE双标图模型在谷子品种高产稳产性同步评价方面的可行性。

3.2 适应性广、丰产和稳产谷子新品种的育种策略探讨

适应性广、丰产和稳产是评价农作物品种的最重要的经济指标和产量育种目标^[30]。20世纪80年代‘豫谷1号’的选育打破了谷子适应性窄、地域性强的传统理论。可在豫、冀、鲁、辽和陕等省大面积推广种植,获国家技术发明二等奖,到目前生产上主推品种‘豫谷18’,都为适应性广谷子新品种的选育积累了优秀的育种材料。因此,笔者总结团队多年的育种经验^[28-29],分别针对谷子的稳产性、丰产性和广适应性状的育种策略进行探讨。对谷子稳产性状的选择主要依据品种抗逆性、抗病性和适应性,低世代关注单株抗倒性、垂直抗病性的选择,淘汰易倒伏、感病的株系,高世代关注群体抗倒性、水平抗病性,对重点株系进行接种,设置抗逆抗病鉴定圃,确保品种抗逆性的遗传。对谷子丰产性状选择通过提高单位面积有效穗数和单穗粒重的目标,低世代通过测定单株的穗长、穗粗、穗码数、码粒数等产量性状达到提高单穗粒重目的,一般谷穗中等偏长、粗穗、穗码数适中、码粒数多的类型为主。高世代以评测群体为主,设置高密度选种圃,选择成穗率高、结实性好、抗倒性强的株系。这与小麦高产高效品种选育有相似之处^[30]。参照程顺和等^[31]提出高代品系进行不同生态区多点试验提高适应性育种效率的观点,在谷子的选育过程中首先以光温不敏感的材料/品种作亲本配制杂交组合,在安阳市农业科学院的安阳市和海南省三亚市试验基地进行跨生态区交替选择,由于海南省三亚市崖城镇特殊气候条件下,低世代材料不轻易淘汰,以防漏选,高代材料布置多点试验鉴定,结合综合表现,重点选择高产稳产、抗病、一致性好的株系,同时考虑成穗率高、边际效应弱、耐密植株系,育成品种自身调节能力强,利于稳产和广适应。

本研究采用GGE双标图,为‘豫谷18’划定优

势种植区域,在华北夏谷区大部分试点适合该品种的推广,同时利用GGE双标图的“成对比较”功能图将‘豫谷18’与对照品种‘冀谷19’在华北夏谷区组的产量表现进行相互比较。结果表明,‘豫谷18’在2年试验中表现出对华北夏谷区域最广泛的适应性,在与对照品种的成对比较中也体现出绝对的区域适应性优势。明确‘豫谷18’是华北夏谷区广适性的品种,结合其高产和稳产的特征,说明‘豫谷18’是针对华北夏谷区广适性育种的成功例证,同时也说明GGE双标图对品种的适宜种植区域划分的有效性和实用性。

参考文献 References

- [1] 刁现民. 基础研究提升传统作物谷子和黍稷的科研创新水平[J]. 中国农业科学, 2016, 49(17): 3261-3263
Diao X M. Basic research promoting scientific innovation for traditional Chinese cereals, foxtail millet and common millet [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2016, 49(17): 3261-3263 (in Chinese)
- [2] 刁现民, 程汝宏. 十五年区试数据分析展示谷子糜子育种现状[J]. 中国农业科学, 2017, 50(23): 4469-4474
Diao X M, Cheng R H. Current breeding situation of foxtail millet and common millet in China as revealed by exploitation of 15 years regional adaptation test data [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2017, 50(23): 4469-4474 (in Chinese)
- [3] 刘猛, 赵宇, 宋中强, 夏雪岩, 张扬, 李顺国, 王慧军, 许丽平. 基于密切值模型的谷子新品种示范效果综合评价:以豫谷18为例[J]. 中国农业科技导报, 2017, 19(11): 42-48
Liu M, Zhao Y, Song Z Q, Xia X Y, Zang Y, Li S G, Wang H J, Xu L P. Comprehensive evaluation of new foxtail millet variety demonstration effect based on osculation value-taking Yugu 18 as a case [J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2017, 19(11): 42-48 (in Chinese)
- [4] 严威凯. 双标图分析在农作物品种多点试验中的应用[J]. 作物学报, 2010, 36(11): 1805-1819
Yan W K. Optimal use of biplots in analysis of multi-location variety test data [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2010, 36(11): 1805-1819 (in Chinese)
- [5] 严威凯, 盛庆来, 胡跃高, L A Hunt. GGE 叠图法分析品种×环境互作模式的理想方法[J]. 作物学报, 2001, 27(1): 21-28
Yan W K, Sheng Q L, Hu Y G, Hunt L A. GGE-biplot: An ideal tool for studying genotype by environment interaction of regional yield trial data [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2001, 27(1): 21-28 (in Chinese)
- [6] 许乃银, 荣义华, 李健, 付永红, 梅汉成. GGE双标图在陆地棉高产稳产和适应性分析中的应用:以长江流域棉区国审棉花

- 新品种‘鄂杂棉30’为例[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(6): 884-892
- Xu N Y, Rong Y H, Li J, Fu Y H, Mei H C. Evaluation of upland cotton yield stability and adaptability using GGE-biplot analysis: A case study of ‘Ezamian-30’ cotton cultivar in Yangtze River Valley[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2017, 25(6): 884-892 (in Chinese)
- [7] Xu N Y, Fok M, Zhang G W, Li J, Zhou Z G. The application of GGE biplot analysis for evaluating test locations and mega-environment investigation of cotton regional trials [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2014, 13(9): 1921-1933
- [8] 许乃银, 李健. 基于 GGE 双标图的长江流域国审棉花品种分类特征评价[J]. 中国农业科学, 2014, 47(24): 4780-4789
- Xu N Y, Li J. Evaluation on the classification characteristics of national registered cotton varieties in the Yangtze River Valley based on GGE-Biplot[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2014, 47(24): 4780-4789 (in Chinese)
- [9] 许乃银, 李健. 棉花区试中品种多性状选择的理想试验环境鉴别[J]. 作物学报, 2014, 40(11): 1936-1945
- Xu N Y, Li J. Identification of ideal test environments for multiple traits selection in cotton regional trials [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2014, 40(11): 1936-1945 (in Chinese)
- [10] 柳娜, 曹东, 王世红, 张雪婷, 杨文雄. 基于 GGE 双标图的甘肃春小麦区试品系稳产性和试点代表性分析[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2018, 46(4): 39-48
- Liu N, Cao D, Wang S H, Zhang X T, Yang W X. Yield stability and testing-site representativeness of regional trials for spring wheat lines in Gansu based on GGE-biplot [J]. *Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition)*, 2018, 46(4): 39-48 (in Chinese)
- [11] 梁黔云, 李清超, 吴瑞, 文琼, 孙开利, 罗仕文, 马俊, 吴显, 田井平. GGE 双标图在玉米品种区域实验中的应用[J]. 中国农学通报, 2014, 30(6): 224-228
- Liang Q Y, Li Q C, Wu R, Wen Q, Sun K L, Luo S W, Ma J, Wu X, Tian J P. Application of GGE-Biplot in regional trial maize varieties [J]. *Chinese Agriculture Science Bulletin*, 2014, 30(6): 224-228 (in Chinese)
- [12] Owusu G A, Nyadanu D, Owusu-Mensah P, Amoah R A, Amisshah S, Danso F C. Determining the effects of genotype \times environment interactions on grain yield and stability of hybrid maize cultivars under multiple environments in Ghana [J]. *Ecological Genetics and Genomics*, 2018, 9: 7-15
- [13] Mohammad H, Fotokian K A. Biplot analysis of genotype by environment for cooking quality in hybrid rice: A tool for Line \times Tester data [J]. *Rice Science*, 2014, 21(5): 282-287
- [14] 张志芬, 付晓峰, 刘俊青, 杨海顺. 用 GGE 双标图分析燕麦区域试验品系产量稳定性及试点代表性[J]. 作物学报, 2010, 36(8): 1377-1385
- Zhang Z F, Fu X F, Liu J Q, Yang H S. Yield stability and testing-site representativeness in national regional trials for oat lines based on GGE-Biplot analysis [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2010, 36(8): 1377-1385 (in Chinese)
- [15] 张春明, 赵雪英. 用 GGE 双标图分析区域试验中小豆品系的高产稳产性及适应性[J]. 农学学报, 2013, 3(1): 6-9, 31
- Zhang C M, Zhao X Y. Yield stability and testing-site representativeness in national trials for adzuki lines based on GGE-Biplot analysis [J]. *Journal of Agriculture*, 2013, 3(1): 6-9+31 (in Chinese)
- [16] Zhang P P, Song H, Ke X W, Jin X J, Yin L H, Liu Y, Qu Y, Su W, Feng N J, Zheng D F, Feng B L. GGE biplot analysis of yield stability and test location representativeness in proso millet (*Panicum miliaceum* L) genotypes [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2016, 15(6): 1218-1227
- [17] 张忠信, 董文召, 秦利, 高伟, 徐静, 张俊, 刘娟, 杜培, 刘华. GGE 双标图在河南省夏播花生品种区域试验中的应用 [J]. 中国农学通报, 2016, 32(36): 62-65
- Zhang Z X, Dong W Z, Qin L, Gao W, Xu J, Zhang J, Liu J, Du P, Liu H. Application of GGE-biplot in regional test of summer sowing peanut variety in Henan Province [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2016, 32(36): 62-65 (in Chinese)
- [18] 张大爱, 赵绪明, 钱一萍, 杜莹, 张志芬, 高金锋, 高小丽, 王鹏科, 冯佰利, 柴岩, 付晓峰. 用 GGE 双标图分析苦荞品种的产量稳定性及试验地点相似性[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2015, 43(7): 101-108
- Zhang D A, Zhao X M, Qian Y P, Du Y, Zhang Z F, Gao J F, Gao X L, Wang P K, Feng B L, Chai Y, Fu X F. GGE biplot based yield stability and test site similarity of tartary buckwheat varieties [J]. *Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition*, 2015, 43(7): 101-108 (in Chinese)
- [19] 许乃银, 张国伟, 李健, 周治国. 基于 GGE 双标图的棉花品种生态区划分[J]. 应用生态学报, 2013, 24(3): 771-776
- Xv N Y, Zhang G W, Li J, Zhou Z G. Investigation of cotton mega-environment based on fiber strength selection and GGE biplot [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2013, 24(3): 771-776 (in Chinese)
- [20] 陈新, 吴斌, 张宗文. 燕麦种质资源重要农艺性状适应性和稳定性评价[J]. 植物遗传资源学报, 2016, 17(4): 577-585
- Chen X, Wu B, Zhang Z W. Evaluation of adaptability and stability for important agronomic traits of oat (*Avena* spp) germplasm resources [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2016, 17(4): 577-585 (in Chinese)
- [21] Koundinya A. V. V, Pandit M. K, Ramesh D, Mishra P. Phenotypic stability of eggplant for yield and quality through AMMI, GGE and cluster analyses [J]. *Scientia Horticulturae*, 2019, 247: 216-223
- [22] 张振兰, 郑磊, 李永红, 李建厂, 郭徐鹏. 黄淮地区国家油菜区域试验点评价和品种生态区划分[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2017, 45(10): 49-55
- Zhang Z L, Zheng L, Li Y H, Li J C, Guo X P. Evaluation of

- rapeseed variety trial sites and investigation of mega-environment in Huanghuai region[J]. *Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition*, 2017, 45(10): 49-55 (in Chinese)
- [23] 柴继宽, 慕平, 赵桂琴. 8个燕麦品种在甘肃的产量稳定性及试点代表性研究[J]. *草地学报*, 2016, 24(5): 1100-1107
Chai J K, Mu P, Zhao G Q. Study on yield stability and test site representativeness of eight oat varieties in Gansu Province [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2016, 24(5): 1100-1107 (in Chinese)
- [24] Lydia H, Hussein S, Fatma S, Learnmore M, Mark D. L. Genotype-by-environment interaction for grain yield among novel cowpea (*Vigna unguiculata* L) selections derived by gamma irradiation[J]. *The Crop Journal*, 2018, 6(3): 306-313
- [25] Yan W K. 农作物品种试验数据管理与分析[M]. 许乃银, 金石桥, 译. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2015
Yan W K. Crop variety trials data management and analysis [M]. Xu N Y, Jin S Q, translate. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2015 (in Chinese)
- [26] Xu N Y, Fok M, Zhang G W, Li J, Zhou Z G. The application of GGE biplot analysis for evaluating test locations and mega-environment investigation of cotton regional trials [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2014, 13(9): 1921-1933
- [27] Yan W K, Frégeau-Reid J, Pageau D. Genotype by environment interaction and trait associations in two genetic populations of oat[J]. *Crop Science*, 2016, 56(3): 1136-1145
- [28] 王素英, 闫宏山, 刘海萍, 宋中强, 王淑君, 宋慧, 谢明杰, 秦永兵, 刘金荣. 豫谷 18 和豫谷 19 的选育及育种策略[J]. *安徽农业科学*, 2018, 46(9): 60-62
Wang S Y, Yan H S, Liu H P, Song Z Q, Wang S J, Song H, Xie M J, Qin Y B, Liu J R. Breeding and breeding strategies of Yugu 18 and Yugu 19[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2018, 46(9): 60-62 (in Chinese)
- [29] 闫宏山, 刘金荣, 王素英, 路志国, 刘海平, 蒋自可. ‘豫谷’系列谷子品种选育技术与探讨[J]. *杂粮作物*, 2009, 29(1): 21-24
Yan H S, Liu J R, Wang S Y, Lu Z G, Liu H P, Jiang Z K. Selection techniques and probe on ‘Yugu’ series valley variety [J]. *Rain Fed Crops*, 2009, 29(1): 21-24 (in Chinese)
- [30] 何中虎, 陈新民, 王德森, 张艳, 肖永贵, 李法计, 张勇, 李思敏, 夏先春, 张运宏, 庄巧生. 中麦 175 高产高效广适特性解析与育种方法思考[J]. *中国农业科学*, 2015, 48(17): 3394-3403
He Z H, Chen X M, Wang D S, Zhang Y, Xiao Y G, Li F J, Zhang Y, Li S M, Xia X C, Zhang Y H, Zhuang Q S. Characterization of wheat cultivar Zhongmai 175 with high yielding potential, high water and fertilizer use efficiency, and broad adaptability[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(17): 3394-3403 (in Chinese)
- [31] 程顺和, 张伯桥, 高德荣. 小麦育种策略探讨[J]. *作物学报*, 2005, (7): 932-939
Cheng S H, Zhang B Q, Gao D R. A discussion on strategies in wheat breeding[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2005, (7): 932-939 (in Chinese)

责任编辑: 吕晓梅